امکان کاهش اثر تنش شوری در گیاه لوبیا با استفاده از سالیسیلیک اسید

داوود خوشبخت*، علی‌اکبر رامین و محمدرضا باغبانها[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۳۰)

چکیده

تنش شوری از جمله مهم‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که رشد و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. نشان داده شده که سالیسیلیک اسید به عنوان یک پیام‌آور درون‌زاد مسئول القای تحمل به تنش در گیاهان می‌باشد. در این پژوهش، اثر سالیسیلیک اسید و کلرید سدیم بر رشد گیاه لوبیا سبز مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور، گیاهان مورد آزمایش، در مرحله دو برگی، با سه غلظت صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی گردیدند. سپس گیاهان به مدت ۱۴ روز تحت تیمار شوری در دو غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌مول نمک کلریدسدیم قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار پارامترهای وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، کلروفیل نسبی، درصد نسبی آب برگ، شاخص تنش و افزایش معنی‌دار پرولین و قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد گردید. گیاهان تیمار شده با هر دو غلظت سالیسیلیک اسید، وزن تر و خشک بیشتری را در مقایسه با تیمار بدون سالیسیلیک اسید نشان دادند. هم‌چنین کاربرد سالیسیلیک اسید در هر دو غلظت مورد استفاده باعث بهبود شاخص‌های درصد نسبی آب، میزان کلروفیل نسبی و کلروفیل فلورسانس (Fv/Fm) برگ در شرایط تنش شوری در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. به‌طور خلاصه، محلول‌پاشی گیاه لوبیا با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری می‌تواند باعث بهبود رشد آن شده و در نتیجه مقاومت به تنش شوری لوبیا را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: تنش محیطی، پرولین، کلروفیل نسبی

۱. به‌ترتیب کارشناس ارشد، استاد و کارشناس‌ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: davod.khoshbakht@gmail.com

مقدمه

گیاهان در خلال دوره‌های رشد و نمو خود ممکن است با تنش‌های متعدد محیطی روبرو شوند. تنش نتیجه روند غیرعادی فرآیندهای فیزیولوژیک است که از تأثیر یک یا ترکیبی از عوامل زیستی و محیطی حاصل می‌شود. تنش‌های غیرزیستی از جمله عواملی می‌باشند که در رشد و عملکرد گیاهان محدودیت ایجاد می‌کنند. خسارت تنش‌های کمبود آب، شوری و دما به گیاهان در سطح جهان در مقایسه با سایر تنش‌ها گسترده‌تر است (۲۹). تنش شوری از جمله مهم‌ترین تنش‌های محیطی می‌باشد که رشد وعملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. سطوح بالای شوری باعث کاهش قابل توجه در پارامترهای رشد مانند سطح برگ، طول برگ و وزن خشک ریشه و ساقه می‌گردد (۲). در شرایط شور، گیاهان با تنش آبی ایجاد شده به‌وسیله پتانسیل کم‌آبی خارجی و سمیت یون به دلیل تجمع در داخل گیاه روبرو می‌شوند (۳۳). اگرچه گیاهان ممکن است با شوری متوسط و کم آب، متابولیسم معمولی داشته باشند و تنش را نشان ندهند، ولی برای حفظ این وضعیت احتیاج به مصرف انرژی بیشتری برای فعالیت متابولیسمی و چرخه فتوسنتز دارند که در نهایت منجر به کاهش رشد و عملکرد محصول می‌شود (۳۲). تحت این شرایط، گیاهان مکانیسم‌هایی را برای تحمل اسمزی و یونی به کار می‌برند. این راهکارها شامل تنظیم اسمزی توسط تجمع املاح سازگار معدنی و آلی، تولید پروتئین‌های تنش (۳۶) و کاهش غلظت یون‌های سمی در سیتوپلاسم توسط محدود کردن ورود سدیم می‌باشد (۱۴). گیاهان عموماً به‌وسیله مکانیسم‌های دفاعی فعال شده و تنظیم متابولیسم سلولی، به تنش محیطی پاسخ نشان می‌دهند (۱۳).

گیاهان پس از قرارگیری در شرایط تنش، به منظور فعال‌سازی یا سنتز مکانیسم‌های دفاعی، پیام ارسال می‌کنند (۳۱). بسیاری از ملکول‌ها مانند کلسیم، اسید جاسمونیک، اتیلن و سالیسیلیک اسید به عنوان پیام رسان یا محصولات علامت‌دهنده معرفی شده‌اند (۲۴). اخیراً مطالعات متعددی نقش عمده سالیسیلیک اسید را به عنوان یک ملکول پیام‌رسان مهم در نوسانات پاسخ‌های گیاه به تنش‌های متعدد نشان می‌دهند (۲۲). سالیسیلیک اسید سبب اثرهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود که شامل تأثیر بر جذب مواد، جذب یون‌ها به‌وسیله ریشه، انتقال یون‌ها (۱۸)، جلوگیری از سنتز اتیلن (۲۸)، کم کردن تعرق (۲۷)، تحریک تشکیل غده در سیب‌زمینی (۲۵)، جلوگیری از فعالیت اسید آبسیسیک که تحریک‌کننده بسته شدن روزنه‌هاست (۳)، تنفس میتوکندریایی، جوانه‌زنی بذر، میوه‌دهی، افزایش میزان رشد و فتوسنتز، افزایش قابلیت نفوذپذیری غشا و هدایت روزنه‌ای (۲۲) می‌شود. اثر مثبت سالیسیلیک اسید بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش گزارش شده است (۴۱). خداری (۲۳) دریافت که تیمار سالیسیلیک اسید محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها را در گیاه ذرت افزایش می‌دهد. تاری و همکاران (۴۳) اعلام کردند که تیمار طولانی مدت گیاه گوجه‌فرنگی با غلظت‌های کم سالیسیلیک اسید، گیاهان را قادر ساخت که تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم را تحمل کنند. التائب (۱۲) گزارش داد که پیش‌تیمار گیاه جو با سالیسیلیک اسید موجب افزایش میزان آب نسبی (**RWC**)، وزن تر و خشک، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌های نامحلول، فسفر و فعالیت پراکسیداز در شرایط تنش شوری گردید. ساخابودینوا و همکاران (۳۷) گزارش کردند که تیمار سالیسیلیک اسید تأثیر خسارت شوری بر رشد گیاه گندم را کاهش داده و تجدید مراحل رشد را تسریع کرد. هم‌چنین در گیاهان گندم تیمار شده با سالیسیلیک اسید، مقادیر اسید آبسیسیک افزایش یافت، که نتیجه آن توسعه واکنش‌های ضد تنشی بود. تحریک مقاومت به تنش‌های مختلف در گیاهان به‌وسیله کاربرد خارجی سا لیسیلیک اسید و مشتقات آن ممکن است کاربرد عملی مهمی در کشاورزی، باغبانی و جنگل‌داری داشته باشد (۳۹). هدف از این آزمایش، کاربرد تیمار سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت به شوری در گیاهچه‌های لوبیا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نحوهٔ اجرای آزمایش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در

دو سطح شوری، دو سطح سالیسیلیک اسید و سه تکرار انجام گردید. بذرهای لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) در گلدان‌های سطلی حاوی مخلوط مساوی ماسه و خاک لوم کاشته شدند. آبیاری گیاهان توسط محلول نیم جانسون انجام گردید. سپس در مرحله دو برگی، گیاهان مورد آزمایش توسط سه غلظت صفر، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید محلول‌پاشی شدند. سپس به مدت ۱۴ روز تحت تیمار شوری در دو غلظت صفر و ۱۰۰ میلی‌مول نمک کلرید سدیم قرار گرفتند. جهت جلوگیری از وارد شدن شوک ناگهانی به گیاهان، اعمال تیمار شوری به تدریج انجام گرفت. در پایان آزمایش، فاکتورهای وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، پرولین، قندهای محلول، کلروفیل نسبی، درصد نسبی آب برگ و شاخص فلورسانس کلروفیل اندازه‌گیری گردیدند.

تهیه محلول کلرید سدیم

برای تهیهٔ محلول‌های شوری، از نمک NaCl با درجه خلوص ۹۹/۵٪ [MERK] استفاده گردید و محلول‌های با غلظت‌های صفر و ۱۰۰ میلی‌مول بر لیتر تهیه گردید. اندازه‌گیری وزن تر ریشه، ساقه و برگ: در پایان آزمایش، وزن تر ریشه، ساقه و برگ توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم تعیین شد.

اندازه‌گیری وزن خشک ریشه، ساقه و برگ

ریشه، ساقه و برگ به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سلسیوس تا زمان رسیدن به وزن ثابت، خشک و پس از آن وزن خشک ریشه، ساقه و برگ توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین گردید.

اندازه‌گیری کلروفیل نسبی

میزان سبزینه‌ای برگ دانهال‌های تحت تیمار در پایان آزمایش توسط دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل CL-01، ساخت شرکت Hansatech instruments Ltd. کشور انگلستان) اندازه‌گیری گردید. بدین منظور، از هر تکرار سه قرائت و در هر برگ از سه قسمت متفاوت اندازه‌گیری انجام و سپس میانگین آنها ثبت گردید.

اندازه‌گیری پرولین

میزان پرولین آزاد نمونه‌های برگ به روش بیتز و همکاران (۴) اندازه‌گیری شد. مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم برگ تر در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر محلول سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ به خوبی له گردید. سپس مخلوط حاصل به‌وسیله کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف گردید. دو میلی‌لیتر از عصاره به‌دست آمده با دو میلی‌لیتر معرف ناین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر استیک اسید خالص مخلوط گردید و سپس مخلوط حاصل به مدت یک ساعت در حمام آب گرم قرار داده شد. پس از خنک شدن عصاره حاصل، به آن تولوئن اضافه و سپس ورتکس گردید. در نهایت، میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-600A) در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت و با استفاده از منحنی پرولین استاندارد، میزان پرولین نمونه‌ها برحسب میکرومول در گرم وزن تر نمونه بیان گردید.

اندازه‌گیری کلروفیل فلورسانس

کلروفیل فلورسانس نمونه‌ها در پایان آزمایش با استفاده از دستگاه فلورسانس‌سنج (مدل RS232، ساخت شرکت ELE International کشور انگلستان) در مرحله تاریکی اندازه‌گیری شد. بدین منظور، از هر گیاه بالاترین برگ بالغ که بدون نشانه‌های آسیب‌دیدگی باشد انتخاب و به مدت ۵ دقیقه به‌وسیله گیره‌های دستگاه، تاریکی داده شد. برای به حداقل رساندن تغییرات روزانه در شدت جریان فوتون فتوسنتزی در طول نمونه‌برداری و کم کردن اثر آن بر پارامترهای مورد اندازه‌گیری، تمام اندازه‌گیری‌ها بین ساعات ۱۰ تا ۱۳ صورت گرفت. سپس پارامتر بیشینه پتانسیل کارآیی کوانتومی فتوسیستم II : Fv/Fm = (Fm-Fo) / Fm اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری میزان نسبی آب برگ

درصد آب در برگ تازه به روش چرکی و همکاران (۵) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، در هر تکرار از ۴ برگ، چهار دیسک به قطر یک سانتی‌متر تهیه گردید و به‌وسیله ترازوی با

دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن گردید (FW). دیسک‌های برگ به مدت چهار ساعت به آب مقطر منتقل و وزن آنها دوباره مشخص گردید (TW). این دیسک‌ها درون ظروف جداگانه به آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس منتقل گردید و پس از ۲۴ ساعت وزن خشک آنها به‌دست آمد (DW). میزان درصد نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$RWC= [(FW-DW)/(TW-DW)]\times100 \qquad [۱]$$

اندازه‌گیری قندهای محلول

اندازه‌گیری میزان قندهای محلول طبق روش پیشنهادی دابیوس و همکاران (۱۱) انجام شد. به این منظور، مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره در لوله آزمایش ریخته شد و ۱ میلی‌لیتر محلول فنل ۵٪ به آن اضافه گردید. سپس بلافاصله مقدار ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد و مخلوط حاصل به مدت یک دقیقه بهم زده شد. در نهایت،۱۵-۱۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار داده شد تا رنگ قهوه‌ای آجری تشکیل گردد. همین مراحل در مورد غلظت‌های مختلف قندهای استاندارد انجام شد. از قند گلوکز به عنوان قند استاندارد و از الکل ۸۰٪ به عنوان غلظت صفر استفاده گردید. پس از واسنجی دستگاه اسپکتروفتومتر توسط محلول قندهای استاندارد، میزان قندهای محلول در طول موج ۴۸۸ نانومتر و برحسب میلی‌گرم در لیتر قرائت گردید.

روش پردازش آماری

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به هر صفت به کمک نرم‌افزار سیستم پردازش آماری SAS (نسخه ۱/۹) انجام و میانگین اثر متقابل در صورت معنی‌دار بودن براساس آزمون فیشر با بیشترین سطح احتمال معنی‌داری در علوم کشاورزی که ۵٪ در نظر گرفته می‌شود، از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار، توسط نرم‌افزار MSTATC مورد مقایسه قرار گرفتند. برای انجام محاسبات جبری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار اکسل (نسخه ۲۰۰۷) استفاده گردید.

نتایج

مقایسه پارامترهای رشدی و فیزیولوژیک گیاهان رشد کرده در غیاب شوری و در حضور ۱۰۰ میلی‌مول در لیتر نمک کلرید سدیم در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد، تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار پارامترهای وزن تر و خشک ریشه، وزن تر و خشک اندام هوایی، کلروفیل نسبی، درصد نسبی آب برگ، شاخص تنش و افزایش معنی‌دار میزان پرولین و قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد گردیده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این آزمایش، مشاهده می‌شود که در شرایط شور، پارامترهای رشدی شامل وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در گیاهان مورد بررسی بدون حضور سالیسیلیک اسید کاهش یافته است (شکل‌های ۱ تا ۴). تیمار سالیسیلیک اسید باعث بهبود رشد گیاه در شرایط بدون تنش شوری گردید. به‌طوری‌که گیاهان تیمار شده با هر دو غلظت سالیسیلیک اسید، تحت شرایط بدون تنش شوری، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه بیشتری در مقایسه با تیمار بدون سالیسیلیک اسید داشتند. تیمار گیاهان با سالیسیلیک اسید در شرایط تنش شوری نیز باعث افزایش در وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه گردید. گیاهان تحت شرایط تنش شوری و تیمار شده با ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید رشد بیشتری را در مقایسه با گیاهان در محیط شور و تیمار نشده با ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید نشان دادند (شکل‌های ۱ تا ۴).

براساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، مشخص گردید که غلظت پرولین و قندهای محلول در شرایط شور افزایش یافته است (شکل‌های ۵ و ۶). بیشترین غلظت پرولین و قندهای محلول در گیاهان شاهد (بدون سالیسیلیک اسید) و در معرض ۱۰۰ میلی‌مول نمک کلرید سدیم مشاهده گردید. کاربرد سالیسیلیک اسید، مقدار پرولین و قندهای محلول را در گیاهان مورد بررسی در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون سالیسیلیک اسید) کاهش داد. شکل‌های ۷ تا ۹ نشان می‌دهند که در شرایط تنش شوری، درصد آب نسبی، میزان کلروفیل نسبی و شاخص فلورسانس کلروفیل برگ در مقایسه با تیمار شاهد کاهش

جدول۱. تأثیر تنش شوری بر رشد رویشی گیاهچه لوبیا

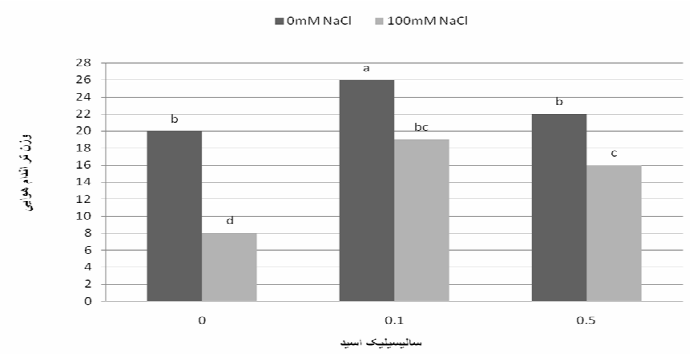
تیمار شوری (میلی‌مول کلرید سدیم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر اندام هوایی (گرم)
۰	۳/۴[a]	۲/۶[a]	۱۸[a]	۲۲/۷[a]
۱۰۰	۲/۲[b]	۱/۸[b]	۱۱[b]	۱۴/۳[b]

در هر ستون تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۲. تأثیر تنش شوری بر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاهچه لوبیا

تیمار شوری (میلی‌مول کلرید سدیم)	پرولین(میکرومول بر گرم وزن تر)	قندهای محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	کلروفیل نسبی	درصد نسبی آب برگ	شاخص تنش
۰	۱/۹[b]	۴۲۳[b]	۱۰/۷[a]	۸۱/۳[a]	۰/۸۱[a]
۱۰۰	۸/۷[a]	۴۹۳/۳[a]	۶/۷[b]	۶۴/۳[b]	۰/۶۲[b]

در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

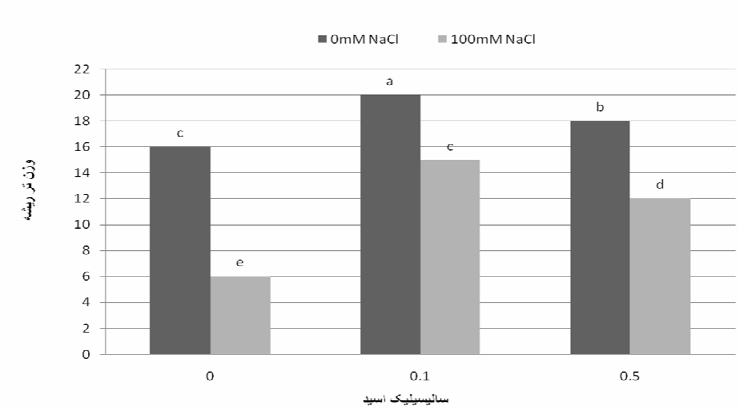


شکل ۱. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر وزن تر اندام هوایی (گرم). در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

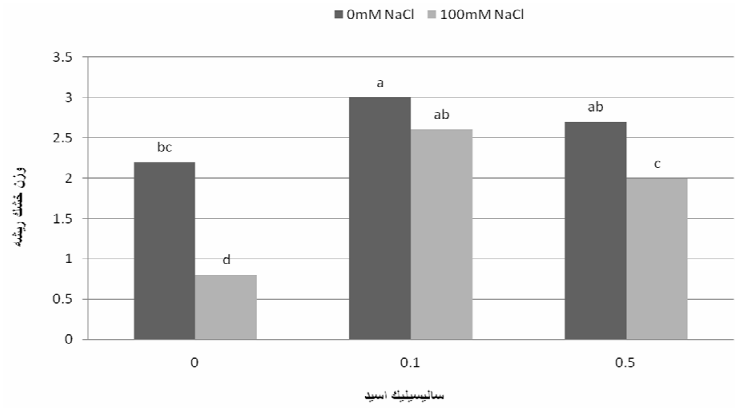
معنی‌داری یافته است. از طرف دیگر، کاربرد تیمار سالیسیلیک اسید در هر دو غلظت مورد استفاده باعث بهبود شاخص‌های درصد آب نسبی، میزان کلروفیل نسبی و فلورسانس کلروفیل برگ در شرایط تنش شوری در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون تنش شوری) گردید.

بحث

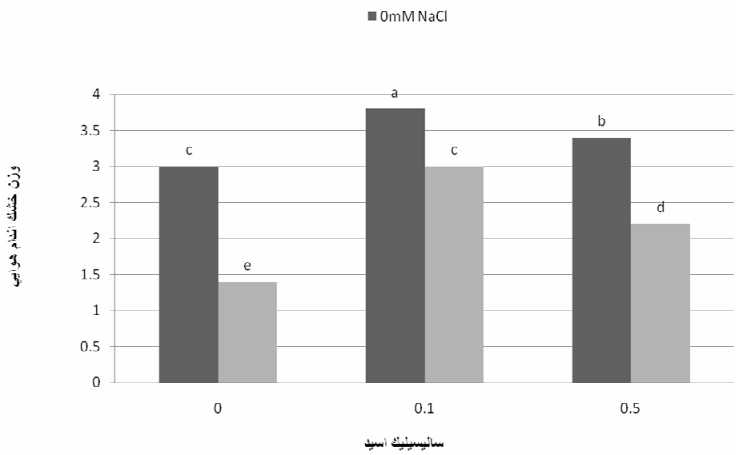
براساس نتایج به‌دست آمده در این آزمایش، مشاهده گردید که پارامترهای رشد شامل وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در شرایط تیمار شوری در مقایسه با گیاهان شاهد (جدول ۱ و شکل‌های۱ تا ۴) کاهش می‌یابد. در این راستا، کاهش تجمع ماده خشک در گیاهان لوبیا در شرایط تنش شوری گزارش شده است (۲۳). این نتایج با پژوهش‌های غلام و همکاران (۱۴) که نشان داد تیمار شوری باعث کاهش پارامترهای رشد (وزن تر و خشک ساقه و ریشه گیاه چغندرقند) می‌شود موافقت دارد. براساس نتایج حاصل، مشخص گردید که تحت شرایط تنش



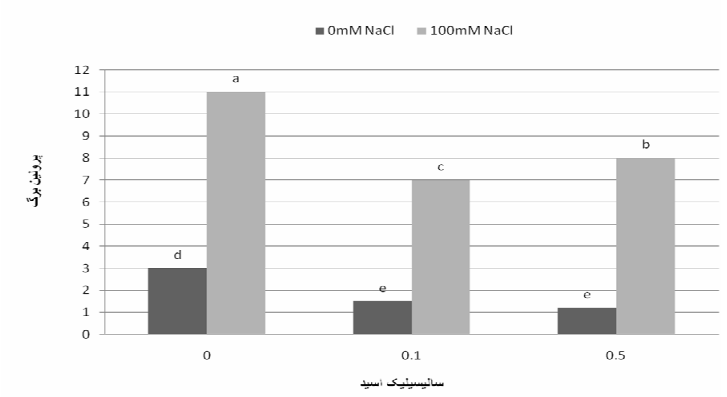
شکل ۲. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر وزن تر ریشه (گرم). در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



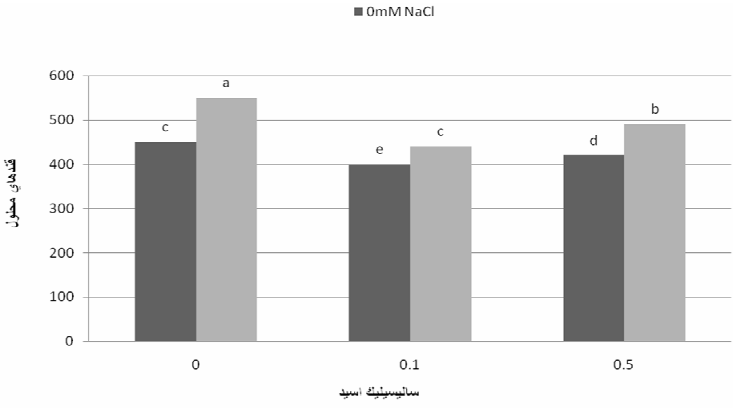
شکل ۳. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر وزن خشک ریشه (گرم. در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



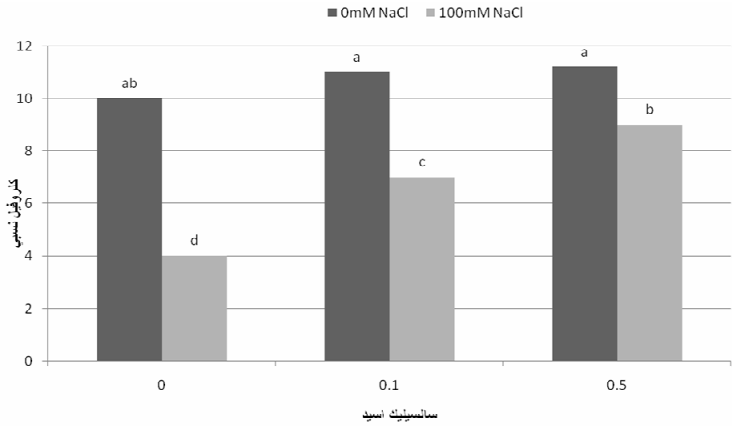
شکل ۴. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر وزن خشک اندام هوایی (گرم. در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



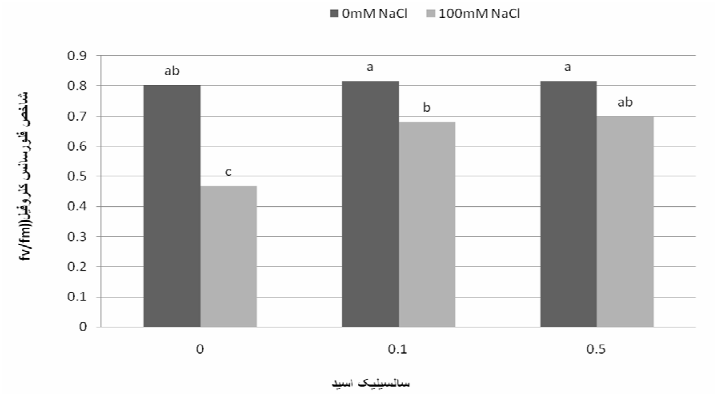
شکل ۵. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر پرولین برگ (میکرومول بر گرم وزن تر). در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



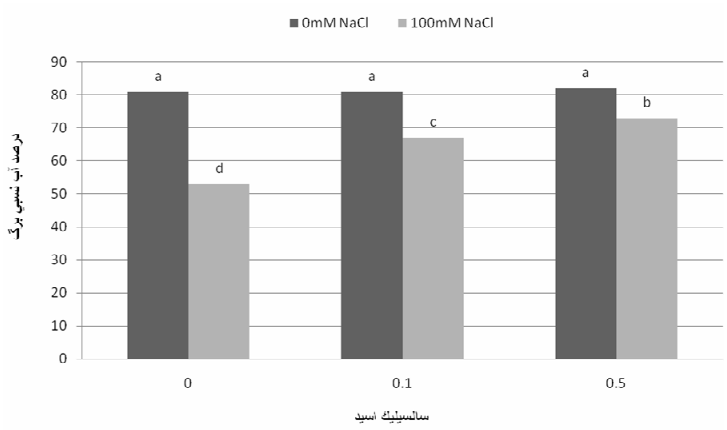
شکل ٦. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر قندهای محلول (میلی‌گرم بر لیتر). در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



شکل ۷. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر کلروفیل نسبی برگ. در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



شکل ۸. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر شاخص کلروفیل فلورسانس(در هر ستونف تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.



شکل ۹. تأثیر تنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید بر درصد آب نسبی برگ. در هر ستون، تیمارهایی که با حروف یکسان نشان داده شده‌اند، براساس آزمون LSD ($P \leq 0.05$) دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

شوری، با به کارگیری سالیسیلیک اسید در مقایسه با زمانی که سالیسیلیک اسید استفاده نگردید، گیاهان وزن تر و خشک بیشتری دارند (شکل‌های ۱ تا ۴). این افزایش مقاومت به‌صورت افزایش در میزان وزن تر و خشک گیاه در شرایط تیمار شده با سالیسیلیک اسید در مقایسه با گیاهانی که تنها شوری دریافت نموده بودند منعکس گردید. گوتیرز و همکاران (۱۶) نیز گزارش مشابهی در مورد افزایش رشد ساقه و ریشه گیاهان سویا در پاسخ به تیمار با سالیسیلیک اسید عنوان نموده‌اند. هم‌چنین این نتایج با یافته‌های دیگران که نشان دادند که سالیسیلیک اسید موجب افزایش مقاومت به بسیاری از تنش‌های زنده (۹) و غیرزنده (۸، ۲۱ و ۳۹) می‌شود موافقت دارد. گزارش شده که تیمار سالیسیلیک اسید آثار زیان‌آور شوری را بر رشد گیاه کاهش می‌دهند (۴۰). افزایش ماده خشک گیاهان در پاسخ به تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط شور ممکن است به نقش محافظت از غشا مربوط شود که باعث بالا رفتن تحمل گیاه به آسیب می‌شود. کرونادو و همکاران (۷) گزارش دادند که محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به شاخساره باعث افزایش رشد ریشه و شاخساره سویا می‌گردد.

هم‌چنین گزارش شده که گیاهان ذرت در شرایط تنش شوری هنگامی‌که با سالیسیلیک اسید تیمار شدند وزن خشک

بیشتری را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده نشان دادند (۱۵). با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان عنوان کرد که سالیسیلیک اسید پاسخ لوبیا را به تنش شوری تنظیم می‌کند، و پیشنهاد می‌کند که سالیسیلیک اسید می‌تواند به عنوان تنظیم کننده رشد بالقوه در جهت بهبود رشد گیاهان تحت شرایط تنش شوری مورد استفاده قرار گیرد. جدول ۲ نشان می‌دهد که محتوای کلروفیل گیاهان لوبیا تحت تیمار کلرید سدیم در مقایسه با گیاهان شاهد به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. به‌طور مشابه، مهار بیوسنتز کلروفیل در گیاهان سورگوم به دلیل تنش شوری گزارش شده است (۱۰). با به کارگیری سالیسیلیک اسید، گیاهان کلروفیل بیشتری داشتند (شکل ۷). افزایش میزان کلروفیل در گیاهان ذرت تیمار شده با سالیسیلیک اسید در تحقیقات سینها و همکاران (۴۲) عنوان گردیده است. فلورسانس کلروفیل یک معیار خوب فعالیت فتوسنتز است و می‌تواند جهت بررسی خسارت به دستگاه فتوسنتزی استفاده شود. در این آزمایش، آنالیز داده‌ها نشان داد که میانگین شاخص کلروفیل فلورسانس با افزایش سطح شوری کاهش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده اثر شوری بر کارآیی فتوسیستم II می‌باشد (جدول ۲).

گزارش‌های متعدد نشان می‌دهند که طی تنش‌های گوناگون، میزان کارآیی فتوسنتز کاهش می‌یابد. در تنش شوری در برنج (۳۰) و ذرت (۱۹)، راندمان فتوشیمیایی کاهش یافت. پژوهش آلاخوردی و همکاران (۲۶) نیز حاکی از آن بود که با وجود تنش شوری، نسخه‌برداری و ترجمه از ژن‌هایی که در ساخت پروتئین D1 دخالت دارند دچار اختلال می‌گردد (۲۶). از سوی دیگر، تنش شوری با کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک، نوعی خشکی فیزیولوژیک ایجاد می‌کند. چنین خشکی فیزیولوژیک می‌تواند باعث نابسامانی در فتوسیستم II شده که همین امر با کاهش کلروفیل فلورسانس در ارتباط است (۱۷). در این پژوهش، با استفاده از تیمار سالسیلیک اسید، شاخص کلروفیل فلورسانس بهبود یافت (شکل ۸). اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های فتوسنتزی تحت شرایط تنش گزارش شده است (۴۱). کاهش درصد آب نسبی برگ پاسخ عمومی گیاهان در معرض تنش اسمزی می‌باشد و شاخص بسیار مناسبی از وضعیت آب در گیاه است (۳۸). عنوان شده که کاهش فشار آماس و طی آن کاهش رشد، یکی از مهم‌ترین اثرهای شوری زیاد در گلیکوفیت‌هاست (۳۴). با استفاده از تیمار سالسیلیک اسید، شاخص میزان آب نسبی بهبود یافت (شکل ۹). التائب (۱۲) گزارش داد که پیش‌تیمار گیاه جو با اسید سالیسیلیک موجب افزایش میزان آب نسبی (RWC) در شرایط تنش شوری گردید. نتایج این پژوهش افزایش تصاعدی در مقدار قند محلول و پرولین گیاهان لوبیا در شرایط تنش شوری را نشان داد (جدول ۲). در این خصوص، عنوان شده که محتوای پرولین و قند محلول در شرایط تنش شوری در گیاهان لوبیا افزایش می‌یابد (۳۵). به نظر می‌رسد پرولین در بسیاری از گونه‌های گیاهی و در بسیاری از شرایط تنش از قبیل خشکی، شوری، دما و شدت نور زیاد تجمع می‌یابد (۶). تجمع پرولین به عنوان یک پارامتر انتخاب برای تحمل تنش است. شرایطی که تنش متوسط یا شدید باشد، غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد. پرولین به عنوان مخزن ذخیره نیتروژن و یا به‌صورت ماده محلولی که پتانسیل اسمزی را کاهش می‌دهد عمل می‌نماید و گیاه را در تحمل تنش یاری می‌رساند (۱). علاوه بر این، در این مطالعه مشخص شد که تیمار سالیسیلیک اسید در شرایط بدون تنش شوری باعث کاهش در محتوای قندهای محلول نسبت به گیاهانی که تیمار نشده بودند گردید (شکل ۶). استفاده از سالیسیلیک اسید از کاهش اکسین و سیتوکینین در گیاهان جلوگیری می‌کند، تقسیمات سلولی بهبود می‌یابد و رشد گیاه بهتر می‌شود. هم‌چنین در شرایط استفاده از سالیسیلیک اسید، با حفظ شاخص‌های فتوسنتزی و کلروفیل، باعث بهبود رشد گیاهان می‌گردد (۲۰). در نتیجه، کاربرد سالیسیلیک اسید می‌تواند باعث مصرف متابولیک فعال قندها به‌صورت محلول در ترکیبات سلول جدید، به عنوان یک مکانیسم برای افزایش رشد در شرایط تنش شوری در گیاه لوبیا، گردد.

نتیجه‌گیری

ترکیباتی که قادر به کاهش اثر تنش‌های محیطی در گیاهان و در نتیجه افزایش بهره‌وری می‌باشند می‌توانند از اهمیت فراوانی برای کشاورزی و باغبانی برخوردار باشند. به‌طور خلاصه، می‌توان عنوان کرد که استفاده از تیمار سالیسیلیک اسید در گیاهان لوبیا در شرایط تنش شوری می‌تواند باعث تحریک رشد و سوخت و ساز کربوهیدرات‌ها شده و در نتیجه مقاومت به تنش شوری را افزایش دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از گروه علوم باغبانی دانشگاه صنعتی اصفهان به خاطر تأمین امکانات لازم سپاسگزاری می‌نمایند. هم‌چنین از داوران ناشناس به خاطر پیشنهادهای ارزشمند و سازنده در این پژوهش تشکر می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Akhondi, M., E. Safarnejad and M. Lahooti. 2006. Effect of drought strees on proline and accumulation of ions. *Journal of Agricultural Sci*ence 10: 165-173.
2. Ashrafuzzaman, M., M. A. Halim Khan and S. M. Shahidullah. 2002.Vegetative growth of maize (*Zea mays*) as affected by a range of salinity. *Crops Research Hisar.* 24: 286-291.
3. Barkosky, R. R. and F. A. Einhellig. 1993. Effect of salicylic acid on plant water relationship. *Journal of Chemical Ecology* 19: 237-247.
4. Bates, L. S., R. P. Waldron and I. D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-207.
5. Cherki, G. H., A. Foursy and K. Fares. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 47: 39-50.
6. Claussen, W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plant. *Plant Sci*ence 168: 241-248.
7. Coronado, M. A. G. , C. T. Lopez and A. L. Saavedra. 1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry* 8: 563-565.
8. Dat, J. F., C. H. Foyer and I. M. Scott. 1998. Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in mustard seedlings. *Plant Physiology* 118: 1455-1461.
9. Delany, T. P., S. Uknes, B. Vernooij, L. Friedrich, K. Weymann, D. Negrotto, T. Gaffney, M. Gut-Rella, H. Kessmann, E. Ward and J. Ryals. 1994. A central role of salicylic acid in plant disease resistance. *Science* 266: 1247-1250.
10. Dela-Rosa, I. M. and R. K. Maiti. 1995. Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. *Journal of Plant Physiology* 146: 515-519.
11. Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
12. El-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* 45: 215-224.
13. Enyedi, A. J., N. Yalpani, P. Silverman and I. Raskin. 1992. Signal molecules in systemic plant resistance to pathogens and pests. *Cell* 70: 879-886.
14. Ghoulam, C., F. Ahmed and F. Khalid. 2001. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 47: 139-150.
15. Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E. G. Bagci and N. Cicek. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology* 164: 728-736.
16. Gutierrez-Coronado, M .A., C. Trejo-Lopez and A. Larqué-Saavedra.1998. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry* 36: 653-665.
17. Hale, M. C. and D. M. Oreuh. 1987. The Physiology of Plant Under Stress. Jon Wiley & Sons, London.
18. Harper, J. P. and N. E. Balke. 1981. Characterization of the inhibition of K^+ absorption in oat roots by salicylic acid. *Plant Physiology* 68: 1349-1353.

19. Hasan, R., M. K. Awasaki, M. Taniguchi and H. Miyake. 2006. Salinity stress induces granal development in bundle sheath chloroplast of maize, and NADP- malic enzyme- type C_4 plant. *Plant Product Science* 9: 256-265.
20. Hayat, Q., S. Hayat, M. Irfan and A. Ahmad. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany* 68: 14-25.
21. Janda, T., G. Szalai, I. Tari and E. Paldi. 1999. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta* 208: 175-180.
22. Khan, W., B. Prithiviraj and D. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Plant Physiology* 160: 485-492.
23. Khodary, S. E. A. 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology* 6: 5-8.
24. Klessig, D. F. and J. Malamy. 1994. The salicylic acid signal in plants. *Plant Molecular Biology* 26: 1439-1458.
25. Koda, Y., K. Takahashi and I. Kikuta. 1992. Potato tuber inducing activities of salicylic acid and related compounds. *Journal of Plant Growth and Regulation* 11: 215-219.
26. Kumar Parida, A. and A. Bandhu Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
27. Larque-Saavedra, A. 1978. The antitranspirant effect of acetylsalicylic acid on *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology* 43: 126-128.
28. Leslie, C. A. and R. J. Romani. 1986. Salicylic acid: A new inhibitor of ethylene biosynthesis. *Plant Cell and Environment* 5: 144-146.
29. Levitt, J. 1980. Response of Plant to Environmental Stresses. Vol. 2, Academic Press, New York, 697 p.
30. Lutts, S., J. M. Kinet and J. Bouharmon. 1996. NaCl- induced senescence in leave of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany* 78: 389-398.
31. Mehdy, M. C. 1994. Active oxygen species in plant defence against pathogens. *Plant Physiology* 105: 467-472.
32. Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: Some dogmas and hypotheses. *Plant Cell and Environment* 16: 15-24.
33. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: Bringing them together. *New Phytologist* 167: 645-663.
34. Neumann, P. M. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell and Environment* 20: 1193-1198.
35. Palma, F., L. Carmen, I. Carmen, M. G. Jose and A. T. G. Noel. 2009. Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*. *Plant Growth Regulation* 58: 307-316.
36. Sairam, R K. and A. Tyagi. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science* 86: 407-421.
37. Sakhabutdinova, A. R., D. R. Fatkhutdinova, M. V. Bezrukova and F. M. Shakirova. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, Special Issue* 314-319.
38. Schonfeld, M. P., J. C. Richard, B. P. Carver and N. W. Mornhi. 1998. Water relation in winter wheat as drought resistant indicators. *Crop Science* 28: 526-531.
39. Senaratna, T., D. Touchell, E. Bunn and K. Dixon. 2000. Acetyl salicylic acid (asprin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation* 30: 157-161.
40. Shakirova, F. M., A. R. Sakhabutdinova, M. V. Bezrukova, R. A. Fatkhutdinova and D. R. Fatkhutdinova. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci*ence 164: 317-322.
41. Singh, B. and K. Usha. 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation* 39: 137-141.
42. Sinha, S. K., H. S. Srivastava and R. D. Tripathi.1993. Influence of some growth regulators and cations on inhibition of chlorophyll biosynthesis by lead in maize. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 51: 241-246.*
43. Tari, I., J. Csiszar, G. Szalai, F. Horvath, A. Pecsaradi, G. Kiss, A. Szepesi, M. Szabo and L. Erdei. 2002. Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic acid pre-treatment. *Acta Biologica Szegediensis* 46: 55-56.